

<原著> 歯冠に加わった衝撃の歯根周囲における伝達特性に関する研究 : 上顎中切歯と下顎第一大臼歯について

著者名(日)	多田 浩二, 澤田 教彰, 坂口 邦彦, 伊藤 仁, 肥後 文章
雑誌名	東日本歯学雑誌
巻	14
号	2
ページ	177-185
発行年	1995-12-31
URL	http://id.nii.ac.jp/1145/00008083/

〔原 著〕

歯冠に加わった衝撃の歯根周囲における伝達特性に関する研究
—上顎中切歯と下顎第一大臼歯について—

多田 浩二, 澤田 教彰, 坂口 邦彦, 伊藤 仁, 肥後 文章

北海道医療大学歯学部歯科補綴学第II講座

(主任：坂口邦彦教授)

A study of the transfer characteristics the impact applied to the
tooth crown on the Periradicular

—The upper central incisor and lower first molar—

Koji TADA, Noriaki SAWADA, Kunihiro SAKAGUCHI,
Hitoshi ITO and Fumiaki HIGO

Department of Fixed Prosthodontics, School of Dentistry,
HEALTH SCIENCES UNIVERSITY OF HOKKAIDO

(chief : Prof. Kunihiro SAKAGUCHI)

Abstract

Investigations were carried out using static and dynamic loads, to clarify the mechanism by which the biting force applied to a tooth is transmitted to periodontal tissue. There are several reports the characteristics of transmission of vibrations from biting forces applied to a tooth using dynamic loads, but the characteristics of transmission to the periradicular have not been elucidated.

In this study, the impact was applied with vibrations, to an artificial planted tooth model, and from the level of vibrations and the volume of vibrations transmitted, the investigated vibration transfer characteristics on the periradicular of the upper central incisor and the lower first molar. The following results were obtained.

1. The component of impact applied to the central region of the upper central incisor margin spread out mainly of vibrations labiolingual in the direction on the periradicular. The transmitted volume of vibrations in the periradicular increased on the lingual and distal sides, and decreased on the labial, mesial and root apex sides.

2. The component of impact applied to the distobuccal cusp of the lower first molar spread mainly in the direction of the buccolingual on the periradicular buccal and lingal sides, buccolin-

受付：平成7年9月30日

gally and mesiodistally on the periradicular mesial side, and mesiodistally on the periradicular distal side. The transmitted volume in the periradicular increased on the buccal and mesial sides, and decreased on the root apex side.

3. The upper central incisor and lower first molar artificial roots of teeth confirmed the expected characteristics of rationally doing the transmission of the impact.

Keywords: Impact, Vibration transmission characteristics, Root form.

緒 言

歯に加わった咬合力が周囲組織へ伝達する様相を解明するための試みとして, 静的荷重を応用した有限要素法, 光弾性試験法, ストレインゲージ法, 動的荷重による音響・振動学的手法等, 多方面からの検索が試みられている。動的荷重下における研究では, 個々の歯から咬合力が伝達分散する様相について根尖部における振動伝達特性を比較したもの^{1,2)}が数例報告されているのみであり, 歯根周囲への伝達特性については明らかとは言えない。

本研究では, 動的荷重である衝撃を振動としてとらえ, 歯に加わった衝撃が歯根周囲へ伝達する様相について, 振動レベルと振動伝達量から比較検討した。今回は, 単根の上顎中切歯と複根の下顎第一大臼歯歯根周囲における衝撃の伝達特性について, 人工歯植立模型を用いた実験を行った。

材料と方法

ブロックダイアグラムを図1に示す。

1) 実験用模型

歯科用超硬質石膏製 (NORITAKE SUPER ROCK/ノリタケ) 円柱形人工歯植立台 (直径30mm, 高径23mm, 以下PB) と, この中央に上顎左側中切歯・下顎左側第一大臼歯エポキシレジン製人工歯 (B3-500/ニッシン) を植立したものの (以下U1, L6) の3種類の実験用模型を各6個, 合計18個作製した (図2)。

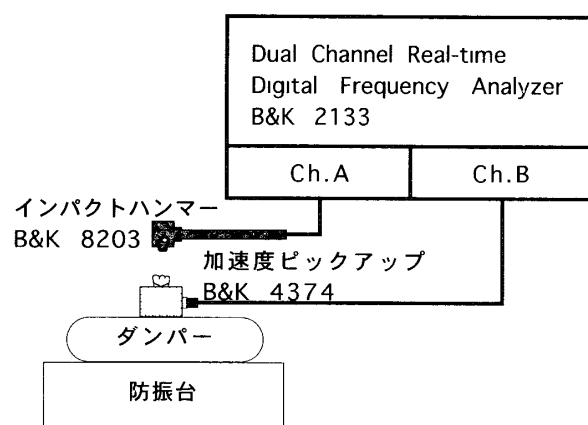


図1 ブロックダイアグラム

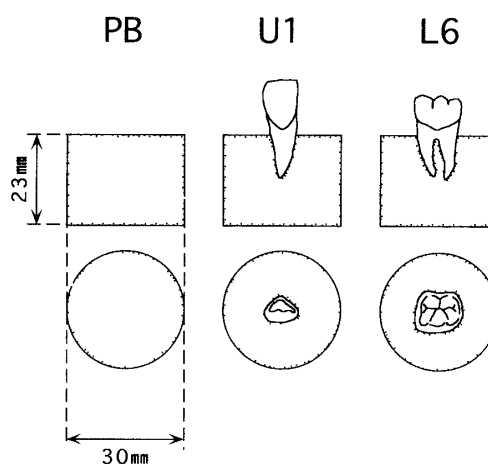


図2 実験用模型の概型

2) 防振支持装置

防振台上に, 軽自動車用タイヤチューブ (チューブ直径150mm, 内径300mm, 空気圧0.5kg/cm²) とゴム製シート (厚さ0.5mm) を接合したダンパー (f_0 : 50Hz) を設置し防振支持装置とした。

3) 加振方法および加振条件

加振は、インパクトハンマー(B & K 8203, 以下ハンマー)で行った。

加振条件は以下のとおりである。

加振方向: U1, L6は歯軸方向, PBは長軸方向。

加振部位: U1は人工歯切縁中央, L6は遠心頬側咬頭頂, PBは上面中心部。

加振力: リニアレベル 74 ± 1 dB (re: 20.0μ N)

加振サイクル: 10回 / 4 秒

加振は、ハンマー内蔵フォーストランジェンサーからの出力を測定機器上でモニタリングすることで、加振力が一定となるように行った。

4) 受振方法

受振は、各受振点に加速度ピックアップ(B & K 4374, 以下ピックアップ)をシアノアクリレート系瞬間接着剤(アロンアルファA「三共」/三共)で接着³⁾して行った。

受振点(図3)は、各実験用模型人工歯植立台部分の側面人工歯根尖相当部に唇(頬)側受振点, 舌側受振点, 近心側受振点, 遠心側受振点(以下順にB, L, M, D), 下面中心部に根尖側受振点(以下C)の5点を設定した。

受振方向は、各受振点で歯軸方向(以下TA), 近遠心方向(以下MD), 唇(頬)舌方向(以下BL)の3方向とした。

5) 測定方法および測定条件

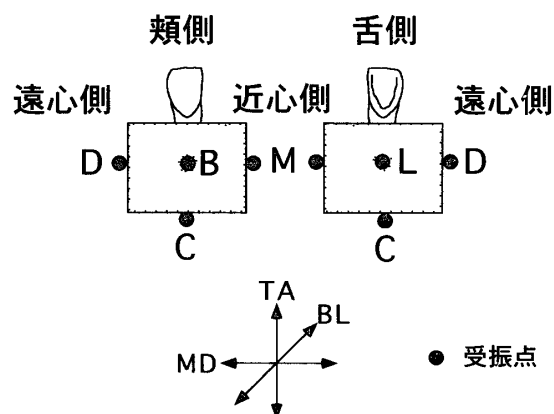


図3 受振点と受振方向

測定には、Dual Channel Real-time Digital Frequency Analyzer (B & K 2133) を使用し、ハンマーからの信号をch. Aに、ピックアップからの信号をch. Bに入力した。

測定は、各受振方向において各々3回、リニアレベル (re: 20.0μ mS⁻²) の測定を行った。

測定条件は以下のとおりである。

averaging-time: 4 秒

周波数帯域: 400Hz~10KHz

1/3オクターブバンド分析

6) 測定結果の処理

本研究では、測定結果に下記の算術処理を行い、その処理結果を実験結果とした。

①各受振点におけるTA, MD, BLの振動レベルに関する算術処理

U1, L6各々の測定結果の平均値からPBの測定結果の平均値を減算し、その差を各受振点におけるTA, MD, BLの振動レベルとして求めた。

②各受振点における振動伝達量に関する算術処理

各受振点において、TA, MD, BLの測定結果の平均値を下記のベクトル合成式で合成後、U1, L6各々の合成値からPBの合成値を減算し、その差を各受振点における振動伝達量(以下Vect)として求めた。

$$N = \sqrt{(n_1^2 + n_2^2 + n_3^2)}$$

ここで

N = 各受振点での合成値

n_1 = TAの平均値

n_2 = MDの平均値

n_3 = BLの平均値

実験結果

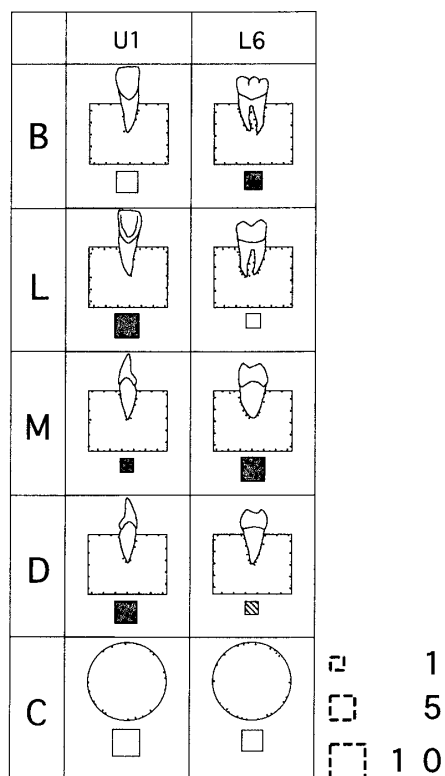
各実験用模型の測定結果の平均値および標準偏差を表1に示す。

各受振点におけるTA, MD, BLの振動レベルの増減を表2に示す。なお、表中のプラスは振

表1 測定結果の平均値と標準偏差

受振点	受振方向	PB		U1		L6	
		平均値	標準偏差	平均値	標準偏差	平均値	標準偏差
B	TA	109.5	0.65	100.1	0.62	108.4	0.36
	MD	85.5	0.47	82.1	0.29	85.7	0.42
	BL	83.1	0.40	90.9	0.21	88.5	0.31
L	TA	109.3	1.02	110.9	0.38	103.8	0.31
	MD	85.0	0.06	85.1	0.55	85.2	0.35
	BL	83.4	0.68	90.8	0.40	88.7	0.25
M	TA	109.7	0.17	105.6	0.21	108.4	0.50
	MD	82.0	0.40	79.5	0.15	87.3	0.40
	BL	84.8	0.35	92.5	0.30	90.5	0.46
D	TA	108.9	1.19	109.2	0.35	104.6	0.45
	MD	82.5	0.32	83.5	0.30	87.5	0.30
	BL	85.8	0.50	92.4	0.25	86.3	0.60
C	TA	107.9	0.21	107.1	0.12	107.0	0.25
	MD	96.7	0.15	87.4	0.15	89.5	0.42
	BL	96.6	0.53	95.2	0.31	98.3	0.20

(単位 : dB)



■ 増加
□ 減少
▨ 増減なし

図4 各受振点におけるVect

表2 各受振点におけるTA, MD, BLの振動レベル

受振点	受振方向	U1	L6
B	TA	-9.4	-1.1
	MD	-3.3	0.2
	BL	7.7	5.3
L	TA	1.7	-5.5
	MD	0.1	0.1
	BL	7.4	5.4
M	TA	-4.1	-1.3
	MD	-2.5	5.3
	BL	7.7	5.7
D	TA	0.3	-4.4
	MD	1.0	5.0
	BL	6.6	0.5
C	TA	-0.9	-1.0
	MD	-9.3	-7.3
	BL	-1.4	1.7

(単位 : dB)

表3 各受振点におけるVect

受振点	U1	L6
B	-3.7	2.1
L	5.1	-0.7
M	0.3	5.0
D	4.3	0.0
C	-6.4	-3.6

動レベルの増加, マイナスは減少を示す。

各受振点におけるVectの増減を表3と図4に示す。なお, 表中のプラスはVectの増加, マイナスは減少を示す。また, 図4は, Vectの増減の大きさを四角形の面積の大きさで表現したもので, 四角形の面積が大きいものほど増加, 減少が大きいことを示す。黒色はVectの増加, 白色は減少, 斜線は増減の認められなかったものを示す。

1) U1

Bは, TAで-9.4dB, MDで-3.3dBの減少, BLで7.7dBの増加, Vectで-3.7の減少であった。

Lは, TAで1.7dB, MDで0.1dB, BLで7.4dB, Vectで5.1の増加であった。

Mは, BLで7.7dBの増加, TAで-4.1dB, MDで-2.5dBの減少, Vectで0.3の増加であった。

Dは, TAで0.3dB, MDで1.0dB, BLで6.6dB, Vectで4.3の増加であった。

Cは, TAで-0.9dB, MDで-9.3dB, BLで-1.4dB, Vectで-6.4の減少であった。

2) L6

Bは, MDで0.2dB, BLで5.3dBの増加, TAで-1.1dBの減少, Vectで2.1の増加であった。

Lは, TAで-5.5dBの減少, MDで0.1dB, BLで5.4dBの増加, Vectで-0.7の減少であった。

Mは, MDで5.3dB, BLで5.7dBの増加, TAで-1.3dBの減少, Vectで5.0の増加であった。

DはTAで-4.4dBの減少, MDで5.0dB, BLで0.5dBの増加であった。Vectでの増減はなかった。

Cは, TAで-1.0dB, MDで-7.3dBの減少, BLで1.7dBの増加, Vectで-3.6の減少であった。

考 察

歯冠に加わった咬合力は, 歯根を介し周囲組織へ伝達分散する。種々の歯の歯根周囲における咬合力伝達分散の様相を知ることは, 咀嚼力の均等分配など顎口腔系保全の観点から重要である。

歯冠に加わった咬合力の周囲組織への伝達の様相については, 静的荷重下における歯根周囲での応力分布を調べた鬼頭⁴⁾, 宮川⁵⁾, 新井⁶⁾, 沖本⁷⁾, 遠藤⁸⁾らの有限要素法を用いたもの, 黒崎⁹⁾, 西園¹⁰⁾, 遠藤⁸⁾, 野村¹¹⁾, 伊藤²⁾らの光弾性試験法を用いたもの, 静的荷重下における歯根周囲での歪の量を調べた岡田¹³⁾, 宮地¹⁴⁾, 遠藤⁸⁾らのストレインゲージ法を用いたもの等の報告がある。しかしこれらは, シミュレーションモデルもしくはコンピュータシミュレーションでの応用に限定され, 生体への転用は困難である。動的荷重を用いて咬合力の伝達特性を測定したものには, 振動を測定したKörber¹⁵⁾, Watt¹⁶⁾, 永田¹⁷⁾, 大倉¹⁸⁾, 中村^{19,20)}, 日笠²¹⁾, 小笠原²²⁾らの報告, 打音や咬合音を測定した伊藤²³⁾, 高宮²⁴⁾, 澤田²⁵⁾らの報告がある。しかし動的荷重を用いたこれらの報告では, 補綴装置や支台装置, 支台歯の差異や歯根周囲組織の形状および性状の変化による咬合力伝達特性の比較を行っているものが多い。歯冠に加わった咬合力が歯根から伝達分散の様相については, 動的荷重を用いた報告の中では, イヌ下顎骨で半澤¹⁾が, 臼歯部歯列模型で陳²⁾が根尖部での衝撃の伝達特性を比較しているのみで, 歯根周囲への伝達分散の様相は明らかとは言えない。

著者らは, 動的荷重を用いた歯根周囲での咬合力伝達特性の解明の試みとして, 今回は歯根形態の異なる上顎中切歯と下顎第一大臼歯人工

歯根周囲での衝撃の伝達特性についての検索を考えた。本研究では、歯冠部を加振して生じた衝撃を振動としてとらえ、実験用模型の各受振点における3方向成分の振動レベル測定を行った。この測定結果に前述の算術処理を施し、U1およびL6からPB固有の振動伝達特性を除外することで、振動レベル、振動伝達量から人工歯根周囲における衝撃の伝達特性を求めることが可能であると考えた。

1) 実験方法について

①防振支持装置

被験物に対する防振装置の防振効果は、防振装置の共振周波数の3倍以上の周波数範囲で生じる²⁶⁾とされる。今回測定を行った最も低い測定中心周波数400Hzの通過バンドは355~447Hzであり、ダンパーの共振周波数の約7倍以上であった。以上のことから、今回研究に使用した防振支持装置は、測定周波数帯域に防振効果を有すると考えた。

②加振力

著者らは、本研究の加振力を決定するための予備実験として、当教室医局員の中から臨床的に健康な上顎中切歯と下顎第一大臼歯を有する被験者数名に加振サイクル：10回/4秒で加振を行った。この結果、加振力75dBまでは疼痛や不快感を生じる者はなく、加振力80dB以上では一部の者に軽い疼痛または不快感を生じさせた。本研究では、 74 ± 1 dBの加振力を選択した。これは、ハンマー重量で換算すると約0.3Gとなり、タッピング時の歯冠部での衝撃加速度²⁷⁾に相当すると考えられる。また、実験用模型加振時に最も低い振動レベルを示した受振方向での暗振動レベルとのレベル差は約40dBであった。これは以下の式でリニア振幅スケール (ISO 1683) に換算するとS/N比は約100倍となる。

$$a = a_{re} \cdot 10^{N/20}$$

ここで

$N = \text{dB}$

$a = \text{リニア振幅 (mS}^{-2}\text{)}$

$a_{re} = \text{reference}$

以上のことから、前述の加振力で加振を行った場合の測定結果は暗振動の影響を受けないと考えた。

③受振方法

ピックアップを振動構造物上に設置した時の質量付加効果は、構造物の共振周波数を次式のように減少させる。

$$f_m = f_s \sqrt{(m_s / (m_s + m_a))}$$

ここで

$f_m = \text{ピックアップの質量の付加された構造物の共振周波数}$

$f_s = \text{構造物のみの共振周波数}$

$m_a = \text{ピックアップの質量}$

$m_s = \text{ピックアップの質量の付加された構造物の質量}$

前述の式は、ピックアップの質量すなわちメカニカル・インピーダンスが構造物の質量と比較して小さければ構造物の振動特性への影響は少ないことを示している。また両者の間に10倍以上の質量比があれば振動学的に問題ない³⁾とされている。今回使用したピックアップの重量は0.65 g、最軽量の実験用模型の重量はPBの32.0 gであり、その重量比は約49倍である。以上のことから、ピックアップの重量付加は実験用模型の振動特性に影響しないと考えた。

有限要素法、光弾性試験法の研究報告^{4,6,9,12)}から歯軸方向に力を加えた場合、根尖部付近の歯根周囲約10~20mm内で応力分布の大きいことが推察された。本研究ではこれらの報告を参考に、受振点が人工歯軸および根尖から15mmの距離となるPBを作製した。

④測定周波数

生体での歯や歯周組織、顔面頭蓋の振動共振周波数および歯・顔面頭蓋骨単体での振動共振周波数は種々の報告から約400Hz~9000Hzの範囲内にあると推察される^{28,29)}。また本研究にお

いて測定された振動のパワースペクトルは、2000～6300Hz帯域に高いレベルを示した。以上のことから本研究では、前述の周波数範囲を含む測定周波数帯域として400Hz～10 KHz帯域での測定を行った。分析バンド幅は、人体振動信号分析バンド幅（ISO/IDS 8041）である1/3オクターブバンドとした。

2) 実験結果について

①上顎中切歯の振動伝達特性について

BとLの実験結果について比較を行ったところ、BLではBが7.7dB、Lが7.4dBと両受振点でほぼ同レベルの振動の増加を示したのに対し、TAおよびMDでは、BでTAが-9.4dB、MDが-3.3dBと振動レベルが減少し、LでTAが1.7dB、MDが0.1dBとわずかに振動レベルが増加した。これらTAおよびMDでの振動レベルの差がBのVectの減少およびLのVectの増加を生じさせたと考えられる。BとLの振動伝達特性に差が生じた原因として、上顎中切歯歯根断面形態が唇側を底辺とする三角形を呈しており³⁰⁾、唇側に比べ舌側に面する歯根表面積の大きいことが考えられる。MとDの実験結果について比較を行ったところ、BLではMがDよりも1.1dB振動レベルが大きいのに対し、TAおよびMDではDがMよりもTAで4.4dB、MDで3.5dB振動レベルが大きかった。またVectではDがMよりも4.0dB大きかった。BとLの振動伝達特性に差が生じた原因として、上顎中切歯歯根が歯軸からやや遠心方向に弯曲していることが考えられる。B、L、M、D各受振点間でのBLの振動レベルの差は最大で1.1dBと大きな差は認められず、BLの振動は歯根周囲で均等に伝達していると考えられる。CのTA、MD、BLの実験結果について比較を行ったところ、TAで-0.9dB、MDで-9.3dB、BLで-1.4dBの振動レベルの減少が認められ、MDの減少が最も顕著であった。このことからMDでの振動レベルの減少がCのVectの減少に大きく影響していると

考えられた。

以上の結果をまとめると、上顎中切歯切縁中央部に歯軸方向へ加わった衝撃の分力は、唇側、舌側、近心側および遠心側で主に唇舌方向へ伝達し、その分布は舌側や遠心側で多く、唇側では歯軸方向の振動の減少、近心側では歯軸方向および近遠心方向の振動の減少、また根尖部では近遠心方向の振動の減少が各々の部位における衝撃の集中を防いでいるものと推察される。

②下顎第一大臼歯の振動伝達特性について

BとLの実験結果について比較を行ったところ、MDではBが0.2dB、Lが0.1dB、またBLではBが5.3dB、Lが5.4dBと両受振点間でのレベル差は0.1dBで、ほぼ同じ振動レベルを示したのに対し、TAではBで-1.1dB、Lで-5.5dBの振動レベルの減少が認められLでの減少が大きかった。また、Vectでは、BのVectが2.1増加したのに対し、LのVectは-0.7とわずかの減少が認められた。BとLの振動伝達特性に差が生じた原因として、下顎第一大臼歯の主たる機能咬頭の一つである遠心頬側咬頭を加振点とした場合、加振点が頬側寄りとなるため加振方向と歯軸との角度差が増大し、歯に頬舌的回転力が加わりTAでの振動レベルに差が生じたためと考えられる。MとDの実験結果について比較を行ったところ、MのMDが5.3dB、DのMDが5.0dBとそのレベル差が0.3dBであるのに対し、MはDよりもTAで3.1dB、BLで5.2dB振動レベルが大きかった。またVectではMがDよりも5.0大きかった。MとDの振動伝達特性に差が生じた原因として、下顎第一大臼歯の歯根が近心根と遠心根でその断面、長さ、弯曲等々異なった形態を有していること、さらに近心根表面積が遠心根表面積に比べ大きい³¹⁾こと等が考えられる。B、L、M、D各受振点間におけるBLの振動レベルの比較では、B、L、M間でのレベル差が最大で0.4dBであるのに対し、DではB、L、Mとのレベル差が最も少ないもので4.8dB認め

られた。CのTA, MD, BLの実験結果について比較を行ったところ, TAで1.0dB, MDで7.3dBの振動レベルの減少が, また, BLでは1.7dBの振動レベルの増加が認められ, MDでの減少が顕著であった。このことからMDでの振動レベルの減少がCのVectの減少に大きく影響していると考えられる。

以上の結果をまとめると, 下顎第一大臼歯遠心頬側咬頭に歯軸方向へ加わった衝撃の分力は, 頬側, 舌側では主に頬舌方向へ, 近心側では主に近遠心および頬舌方向へ, また, 遠心側では主に近遠心方向へ伝達している。振動伝達量は頬側や近心側で大きく, 舌側および遠心側では歯軸方向の振動レベルの減少が, 根尖部では近遠心方向の振動レベルの減少が各々の部位での衝撃の集中を防いでいると考えられる。

今回の実験結果から, 上顎中切歯では, 同部の唇側骨壁が舌側骨壁に比べ薄く³²⁾, 近心側には骨縫合部, 根尖側には鼻腔底が存在すること, また, 下顎第一大臼歯では, 同部の舌側骨壁が頬側骨壁に比べ薄く³³⁾, 下顎骨体が歯軸よりも頬側に位置する³⁴⁾こと等を考えると, 歯軸方向に加わった衝撃は歯根形態によって, 歯植立部付近の支持骨形態に対し合理的に歯根周囲への伝達分散が行われているものと推察された。

結 論

上顎中切歯人工歯と下顎第一大臼歯人工歯の歯根周囲への振動伝達特性について, 振動レベルおよび振動伝達量の差から検討を行った結果, 以下の結論を得た。

- 1) 上顎中切歯切縁中央部に加わった衝撃の分力は, 歯根周囲で主に唇舌方向へ伝達した。歯根周囲での伝達量は舌側や遠心側で増加し, 唇側, 近心側, 根尖部で減少した。
- 2) 下顎第一大臼歯遠心頬側咬頭に加わった衝撃の分力は, 歯根周囲で頬側と舌側では主に頬舌側方向へ, 近心側では主に近遠心および

頬舌方向へ, 遠心側では主に近遠心方向へ伝達した。歯根周囲での伝達量は頬側, 近心側で増加し, 根尖部で減少した。

- 3) 上顎中切歯人工歯および下顎第一大臼歯人工歯の歯根は, 支持骨形態に対して合理的な衝撃の伝達分散を行っていると考えられた。

参考文献

- 1) 半澤栄一, 竹花英明, 木村 朗, 豊田 實, 松尾悦朗: 歯根における振動伝達特性の推定に関する研究。補綴誌 31 (4): 117-125. 1987.
- 2) 陳 重成: 歯に加わる衝撃の歯根配分特性について。神奈川歯学 22 (1): 116-141. 1987.
- 3) Mark Serridge, Torben R Licht: Piezoelectric Accelerometers and Vibration Preamplifiers Brüel & Kjær. 79-110. 1987
- 4) 鬼頭政勝, 近藤 晃, 水上 深, 末次恒夫, 村上敬宜: 有限要素法による咬合力と歯, 歯根膜および下顎骨の力学挙動に関する基礎的研究 第一報 弾性学的にみた歯根膜の力学特性と歯根膜, 下顎骨への応力分布, 補綴誌 19 (4): 233-241. 1976.
- 5) 宮川 修: 橋義歯の有限要素法による力学的研究 第一報, 歯科理工誌 17 (40): 269-277. 1976.
- 6) 新井 泉: 咬合力の歯牙・歯周組織に及ぼす応力に関する力学的研究。補綴誌 22 (4): 177-186. 1978.
- 7) 沖本公繪, 宮武幸輔, 日永田裕子, 村上宏治, 平安亮造: 臼歯部ブリッジの力学的検討 歯槽骨の吸収を伴う支台歯の場合 第一報 有限要素法。補綴誌 32 (5): 113-127. 1988.
- 8) 遠藤萬里: 咀嚼機械としての顔面頭蓋の構造力学。歯界展望 76 (1): 51-63. 1990.
- 9) 黒崎公絵, 右近晋一, 自見 忠, 平安亮造, 福田重久: 荷重下における歯牙および支持組織の応力分布について 第一報 二次元光弾性実験。補綴誌 19: 104-109. 1975.
- 10) 西園直幸: 半固定性ブリッジの荷重下における支台歯および支持組織の三次元光弾性実験による応力解析。補綴誌 32 (4): 155-169. 1988.
- 11) 野村賢介: 片側性遊離端義歯の直接維持装置が荷重時に鉤歯および歯槽骨に与える影響 三次元光弾性実験による応力解析。補綴誌 37 (6): 86-96. 1993.
- 12) 伊藤秀美: 光弾性実験法による鉤歯とその支持組

- 織の内部応力の検討 歯槽骨欠損および隣接接触の影響。The Quintessence (Tokyo) 13:3-11 1994.
- 13) 岡田京子：局部義歯の設計と支台歯周組織の咬合圧負担状態との関係についての実験的研究。歯科学報 71 (7):42-105. 1971.
- 14) 宮地建夫：咬合圧によって生ずる歪分布からみた動物顔面頭蓋の構造力学的研究。歯科学報 71 (1):44-91. 1971.
- 15) Körber, K H.. Biegeschwingungen menschlicher Zahne DAS DEUTSCHE ZAHNARZTEBLATT 16:388-393. 1962.
- 16) Watt, D.M.: A Gnathosonic Study of Tooth Impact. Dental Practitioner and Dental Record 17:317-334. 1967.
- 17) 永田一夫：歯周組織の周波数応答に関する研究。補綴誌 20 (3):81-98. 1976.
- 18) 大倉博顕：歯及び歯周組織の周波数測定について ユニットパルス加振と高速フーリエ変換機による解析。日歯周誌 24 (1):54-83. 1982.
- 19) 中村正幸：衝撃に対する歯および歯周組織の応答に関する基礎的研究。歯科学報 82 (7):23-56. 1982.
- 20) 中村正幸：歯に加わった衝撃の伝導特性。歯科ジャーナル 17 (5):543-549. 1983.
- 21) 日笠不二夫：イヌ頭部の周波数分析に関する研究。神奈川歯学 16 (4):477-496. 1982.
- 22) 小笠原嘉一：ヒト乾燥頭蓋における接触点の衝撃減衰能力に関する研究。神奈川歯学 18 (4):449-469. 1984.
- 23) 伊藤 裕：咬合音の振動伝達に関する研究。補綴誌 23 (4):50-69. 1979.
- 24) 高宮紳一郎：咬合音の骨伝導に関する研究。歯科学報 79 (7):1-42. 1979.
- 25) 澤田教彰, 坂口邦彦, 多田浩二, 肥後文章, 伊藤 仁：実験用模型の歯根が打音の音響特性に及ぼす影響。補綴誌 37・90回特別号:137. 1993.
- 26) 牧田康雄, 中島平太郎, 永田 穂, 寺西立年, 安藤由典, :現代音響学 第2版。オーム社:208-263. 1990.
- 27) 松尾悦朗：補綴検査法一咬合音による診断2 咬合音の特性とその伝わり方, 補綴誌 27 (2):235-236. 1983.
- 28) 松尾悦朗, 浜田静樹, 澤田教彰, 米谷 明, 金安英治：骨の構造差と振動特性に関する研究。神奈川歯学 19 (2):95-104. 1984.
- 29) 多田浩二, 澤田教彰, 坂口邦彦, 伊藤 仁, 肥後文章, 高島成悟：歯科補綴領域における打音の音響インテンシティ測定に関する基礎的研究 固定台材質と固定方法の影響。東日本歯誌 14(1):77-86. 1995.
- 30) 藤田恒太郎, 桐野忠大：歯の解剖学 第21版。金原出版:30-33. 1976.
- 31) 西原達次, 小田 茂, 長田 豊, 村岡宣明, 小鷲悠典, 木下四郎：歯根表面積に関する研究 第三報 大白歯の歯根各部の表面積。日歯周誌 25 (2):393-398. 1983.
- 32) 江澤敏光：現代日本人乾燥頭蓋における歯槽骨の厚さおよび形態について。日歯周誌 26 (2):243-256. 1984.
- 33) 井出吉信：顎骨の形態と歯牙喪失に伴う変化。歯界展望 83 (4):810-825. 1994.
- 34) 一條 尚：下顎骨の構造。歯科ジャーナル 20 (5):521-535. 1984.